

압출용 2축 스크류의 형상설계 및 비토크 특성

최부희[#], 최상훈^{*}

Shape Design and Specific Torque Characteristics of the Extrusion Twin Screw

Boo Hee Choi[#], Sang Hoon Choi^{*}

ABSTRACT

The modular self-wiping co-rotating twin screw extruder (SWCOR) has become the most important of twin screw machines. Screw design is one of the most important factors in determining performance of screw extruder. The screw flight and screw channel geometry of SWCOR is determined by the screw diameter, centerline distance, helix angle, and flights number. The maximum allowable throughput rate on a twin screw extruder is determined by a combination of free volume and available specific torque. In this paper we designed geometrical parameters of extruder screw and presented optimal specific torque value in $K=1.55$, and then developed screw design program for the screw cutting by the use of JAVA API in the twin screw extruder.

Key Words : Co-rotating(동회전), Twin screw extruder(2축 스크류 압출기), Screw flights(스크류 날개), Specific torque(비토크)

1. 서론

2축 스크류 압출기(twin screw extruder)는 단축 스크류 압출기에 비하여 기하학적으로 복잡한 형상을 갖게되며 스크류는 피치와 배럴 사이의 틈새, 물림상태 및 회전방향에 따라 동회전형(co-rotating type)과 역회전형(counter rotating type)으로 분류된다. 밀폐형 동회전 2축 스크류 압출기(SWCOR: self-wiping co-rotating twin screw extruder)는 강력한 성능의 혼합능력을 갖는 특성과 여러 형태의 스크류를 조합하여 생산목적에 맞는 다양한 품질의 제품을 생산할 수 있다는 장점이 있어 오늘날 식품산

업과 폴리머의 혼합공정 등에 많이 사용되고 있는 있다.¹ 1950년대에 처음 도입된 SWCOR의 모델들은 대부분 작은 토크의 감속기와 3날개(triple flights) 스크류의 사용으로 인하여 제한된 추진력과 상대적으로 낮은 용량이었으나 70년대 초 큰 토크를 갖는 기어감속기의 개발로 스크류 압출기는 자유용적(free volume)이 큰 2날개(double flights) 형식으로 바뀌게 되었다. SWCOR에서는 일반적으로 2날개 스크류를 사용하며 자유용적은 스크류의 날개 형상과 밀접한 관계가 있다. 스크류와 배럴 사이의 자유용적이 증가하면 스크류 몸통부의 지름이 작아지게 되어 토크전달이 감소하므로 스크류 축의 전동

¹⁾ 접수일: 2003년 2월 17일; 게재승인일: 2003년 7월 11일

[#] 교신저자: 서울정수기능대학 자동화시스템과

Email: bhchoi@kopo.or.kr, Tel: (02) 2001-4035

^{*} 건국대학교 기계항공공학부

토크를 고려한 날개형상의 적정 설계가 요구된다.²

이에 관한 연구로서 1978년 Booy³는 SWCOR에서 두 스크류의 물림상태가 밀폐형인 조건을 만족하는 스크류의 날개단면을 동역학 원리에 의하여 기하학적으로 해석하였으며, Rauwendaal⁴은 동회전 2축 스크류와 역회전 2축 스크류의 날개단면 형상을 비교하였다. 최근 Potente⁵는 2축 스크류 압출기의 이송영역에서 수학적 모델을 제시하였으며, Lee⁶ 등은 SWCOR의 적정 스크류 지름비를 제시하는 등 스크류의 최적화를 위한 연구가 활발히 진행되어오고 있다. 그러나 SWCOR에 사용되는 스크류는 기하학적 특성상 설계 파라미터가 서로 연동되어 있으므로 설계시 입출력 파라미터의 정확한 해석이 요구되며, 실제 스크류의 설계 제작에 필요한 스크류 단면 및 채널의 형상치수와 스크류 가공용 공구설계 등에 대한 연구는 미진한 실정이다. 또한 스크류 형상은 사용 용도와 용량에 따라 매우 다양하므로 각각 스크류 형상에 대한 수학적 분석은 매우 복잡하여 스크류 설계 시 많은 시간을 요구하게 단점이 있으므로 현장에서 엔지니어들이 빠르고 쉽게 사용할 수 있는 전용 스크류 설계 프로그램이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 SWCOR에서 스크류의 단면과 채널형상을 기하학적으로 해석하여 스크류의 형상특성과 비토크 특성을 분석하였으며, 스크류 지름과 회전수 변화에 따른 적정 동력식을 유도하였다. 또한 특정한 프로그램을 설치하지 않고 인터넷상에서 사용이 가능한 JAVA API의 Math 라이브러리와 Awt 라이브러리를 사용하여 형상 파라미터 입력방식으로 압출용 스크류의 형상 및 공구설계를 위한 전용 설계프로그램을 개발하였다.

2. 스크류의 생성 좌표계

2.1 단면형상

동방향 2축 스크류 압출기는 날개형상과 밀접한 관계가 있다. Fig. 1은 2날개 스크류가 동방향으로 회전할 때 물림상태의 단면을 나타내고 있다. 밀폐형이라 하더라도 실제 설계시에는 스크류와 스크류 및 스크류와 배럴사이의 틈새를 고려하여야 하지만 기하학적 형상 설계시에는 스크류의 바깥지름과 배럴의 안지름이 동일하다고 가정하였다.

스크류의 날개와 채널의 기하학적 형상은 스크류의 바깥지름 D , 축간 중심거리 C_L , 그리고 스크

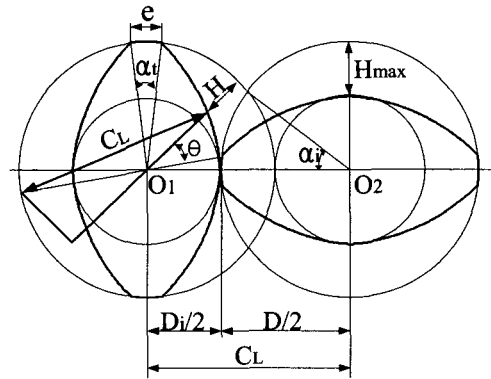


Fig. 1 Basic geometric parameters of SWCOR

류 날개수 p 및 나선각 ϕ 또는 리드(lead) L 에 의하여 결정된다. Fig. 1에서 스크류 단면의 날개높이 H 를 회전각 θ 의 함수로 표현하기 위하여 삼각함수를 이용하면 다음과 같이 유도된다.⁷

$$C_L^2 = (R \sin \theta)^2 + (R \cos \theta + R - H)^2 \quad (1)$$

식 (1)을 H 에 대하여 유도하면 스크류 단면의 일반식 $H(\theta)$ 는 다음과 같이 정리된다.

$$H(\theta) = \frac{D}{2} (1 + \cos \theta) - \sqrt{C_L^2 - \frac{1}{4} D^2 \sin^2 \theta} \quad (2)$$

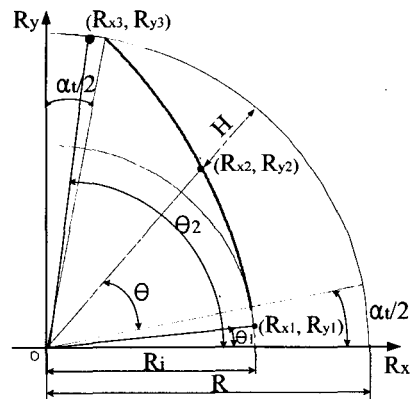


Fig. 2 Coordinate of screw cross section

2날개 스크류의 단면을 생성하기 위한 좌표계는 Fig. 2에서 다음과 같이 정의된다.

$$\left\{0 \leq \theta_1 \leq \frac{\alpha_t}{2}\right\} \text{ 구간에서}$$

$$R_{x1} = \frac{D_i}{2} \cos \theta_1, \quad R_{y1} = \frac{D_i}{2} \sin \theta_1 \quad (3)$$

$$\left\{0 \leq \theta \leq \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_t\right)\right\} \text{ 구간에서}$$

$$R_{x2} = \left\{ \frac{D}{2} - H(\theta) \right\} \cos \left(\theta + \frac{\alpha_t}{2}\right)$$

$$R_{y2} = \left\{ \frac{D}{2} - H(\theta) \right\} \sin \left(\theta + \frac{\alpha_t}{2}\right) \quad (4)$$

$$\left\{\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha_t}{2}\right) \leq \theta_2 \leq \left(\frac{\pi}{2}\right)\right\} \text{ 구간에서}$$

$$R_{x3} = \frac{D}{2} \cos \theta_2, \quad R_{y3} = \frac{D}{2} \sin \theta_2 \quad (5)$$

로 정리된다.

2.2 채널형상

스크류의 채널형상은 식 (2)를 x방향의 궤적으로 좌표 변환을 통하여 구할 수 있다. 나선각을 ϕ 라 하면 $x = \left(\frac{D}{2}\right)\theta \sin \phi$ 이므로 식(2)에 적용하면 다음과 같이 정리된다.

$$H(x) = \frac{D}{2} \left[1 + \cos \left(\frac{2x}{D \sin \phi} \right) \right]$$

$$- \sqrt{C_L^2 - \frac{D^2}{4} \sin^2 \left(\frac{2x}{D \sin \phi} \right)} \quad (6)$$

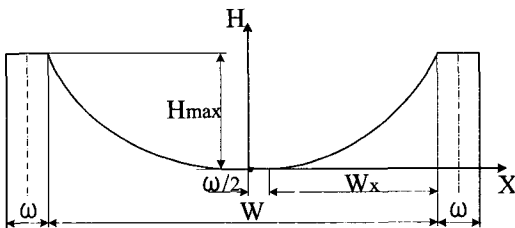


Fig. 3 Coordinate of screw channel

스크류 날개의 선단폭을 w , 축방향 스크류 날개의 선단폭을 b 라고 정의하면 $w = b \cos \phi$ 가 되므로 Fig. 3에서 W_x 는 다음과 같이 표현된다.

$$W_x = \left\{ \frac{L}{2p} - b \right\} \cos \phi \quad (7)$$

따라서 2날개 스크류의 채널형상을 생성하기 위한 좌표계는

$$\left\{0 \leq X_1 \leq \frac{w}{2}\right\} \text{ 구간에서}$$

$$H_{x1} = C_L - D_i \quad (8)$$

$$\left\{\frac{w}{2} \leq X_2 \leq \left(\left(\frac{L}{2p} - b\right) \cos \phi + \frac{w}{2}\right)\right\}$$

구간에서

$$H_{x2} = \frac{D}{2} \left(1 + \cos \left\{ \frac{2(X_2 - \frac{w}{2})}{D \sin \phi} \right\} \right)$$

$$- \sqrt{C_L^2 - \frac{D^2}{4} \sin^2 \left\{ \frac{2(X_2 - \frac{w}{2})}{D \sin \phi} \right\}} \quad (9)$$

로 정리된다.

3. 스크류의 형상 특성

3.1 K값 특성

K값은 스크류의 지름비 D/D_i 로 정의되며 설계시 D 를 입력 파라미터로 하면 D_i 에 따라 결정된다. D_i 값을 크게 설계하면 스크류 축의 강도는 높아지지만 채널의 폭과 깊이가 작게되어 이송능률이 떨어지는 단점이 있다. 또한 D_i 값을 작게 하여 K의 한계값에 가깝도록 설계하면 축방향 날개폭 b 값이 0에 가깝게 되어 스크류 날개 끝단이 예리한 칼날형상으로 되어 스크류의 마멸이 심하게 되며 스크류 축간 중심거리가 작게되어 2축 감속기 설계에 제한을 받는 단점이 있다. 따라서 스크류 형상을 위한 K값의 한계범위는 선단각 $\alpha \geq 0$ 을 만족해야 하므로 다음과 같이 정리된다.⁸

$$K \leq \left[2 \cos \left\{ \frac{\pi}{2p} - \sin^{-1} \left(\frac{\pi b}{L} \right) \right\} - 1 \right]^{-1} \quad (10)$$

Table 1 Limit value of K(D/Di)

b/D		L/D			
		1.0	1.2	1.4	1.6
p=2	b/D=0.00	2.4142	2.4142	2.4142	2.4142
	b/D=0.05	1.6160	1.7031	1.7732	1.8308
	b/D=0.10	1.2708	1.3603	1.4378	1.5052
p=3	b/D=0.00	1.3660	1.3660	1.3660	1.3660
	b/D=0.05	1.1526	1.1792	1.2000	1.2168
	b/D=0.10	1.0433	1.0713	1.0962	1.1177

Table 1은 2날개($p=2$) 스크류와 3날개($p=3$) 스크류에 대하여 b/D 와 L/D 변화에 따른 K 의 한계값을 나타내고 있다. 여기서 K 의 한계범위는 $p=2$ 일 때 $1 \leq K \leq 2.414$ 이며, $p=3$ 일 때 $1 \leq K \leq 1.366$ 임을 알 수 있다. 또한 K 의 한계값은 스크류의 리드 L 에 비례하고 축방향 날개폭 b 와 날개수 p 에 반비례한다.

Fig. 4는 2날개 스크류에서 b/D 와 L/D 의 변화에 따른 K 값 특성을 나타내고 있다. K 값의 한계범위는 L/D 에 비례하고 b/D 에 반비례하는 특성을 가지므로 스크류 설계시 D 와 L 을 미리 결정할 때 K 값은 한계범위 내에서 결정해야 올바른 스크류가 생성된다. 최근 압출기 설계시 이송능률을 높이기 위하여 K 값을 크게 설계하는 추세에 있으나 일반적으로 2날개 스크류에서는 $K=1.55$ 로 널리 설계되고 있다.⁶ 또한 K 값은 스크류의 축간 중심거리 C_L 과 밀접한 관계가 있으므로 2축 스크류용 감속기 설계시 감속기의 출력 축에서 일정한 축간 중심거리의 설계는 감속 기어비의 계산 결과에 따라 K 값을 조절하게 된다.

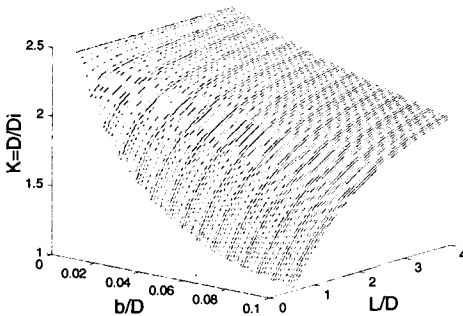


Fig. 4 Characteristics of K value versus b/D and L/D in double flighted screw

3.2 선단각 특성

Fig. 5는 선단각 변화에 따른 K , C_L , H/D 와의 관계를 나타내고 있다. 선단각(tip angle) α_t 는 스크류 축의 단면에서 날개 끝 형상을 결정하는 파라미터로서 선단폭(e), 축방향 날개폭(b) 및 날개폭(w)에 해당하는 단면각이다. 선단각을 크게 설계하면 K 값과 날개높이 H 는 감소하므로 배럴 내에서 축간 중심거리 사이의 용적이 작아지게되어 재료의 변형률이 감소로 인한 혼합효과가 감소하는 단점이 있

다. 또한 선단각을 작게 설계하면 배럴 내에서 체적 변형률이 크게되어 혼합효과가 증가하는 장점이 있다.

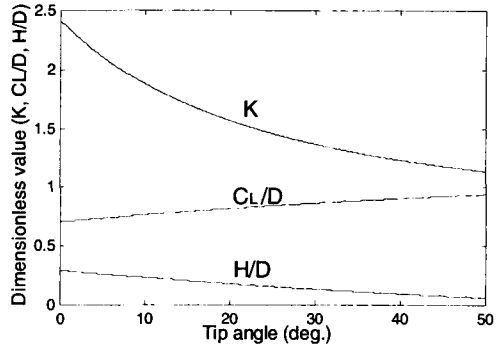


Fig. 5 Characteristic of K , C_L , H/D values versus tip angle in double flighted screw

그러나 선단각을 매우 작게 설계하면 축간 중심거리의 감소로 인하여 베어링 설계의 어려움이 있다. 따라서 Rios⁹의 연구결과 체적변형률과 혼합효과를 고려한 적정 선단각 α_t 를 26° 로 제시하였다. 선단각 26° 는 $K=1.44$ 에 해당되며, $K=1.55$ 일 때 선단각은 20.7° 이므로 혼합효과를 고려한 K 값은 1.44로 나타났다.

3.3 나선각 특성

Fig. 6은 스크류의 날개폭 $w=0.1D$ 일 때 날개수 변화($p=1-4$)에 따른 나선각과 체적효율 특성을 나타내고 있다.

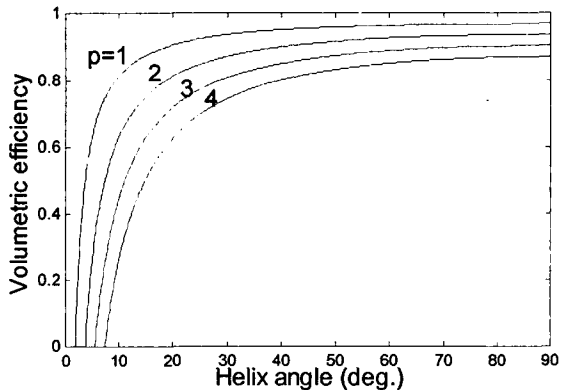


Fig. 6 Volumetric efficiency versus helix angle at various numbers of flights ($w=0.1D$)

체적효율은 나선각이 작을 때 급격히 상승하고 클 때는 완만하게 상승한다. 작은 나선각에서 날개수가 증가하면 체적효율은 급격히 감소함을 알 수 있다. 나선각이 17.66° 즉, L=D일 때 p=1이면 체적효율은 85%가 되지만 p=4이면 체적효율은 50%로 감소한다. 또한 나선각이 30° 일 때 p=1이면 체적효율 95%가 되지만 p=4이면 75%가 된다.¹⁰

4. 스크류의 비토크 특성

SWCOR에서 스크류 설계의 주요 요소는 스크류의 구조 및 모터동력이다. 어떠한 2축 스크류의 구조도 스크류의 축간 중심거리 C_L 과 지름비 K값에 의해 결정된다. 중심거리를 고정시켰을 때 기계의 자유용적은 K값에 의해 결정된다. 또한 스크류의 형상을 결정하는 기하학적 특성값은 D, L, p, K로 결정된다. 스크류 바깥지름 D는 생산량과 소요동력에 의하여 압출기의 크기를 결정하는 파라미터이며, 스크류 리드 L은 스크류 지름 및 나선각과 관련되며 압출용 재료의 물성값과 압출 능력에 따라 결정된다. 스크류 단면의 날개수 p는 스크류 압출기의 형식과 관련되며, 스크류의 지름비 K값은 C_L , α_i , α_t 및 H와 직접 관련되므로 스크류의 형상을 결정하는 가장 중요한 설계 파라미터가 된다. 따라서 스크류 설계시 4개의 설계 파라미터로 SWCOR 스크류의 형상설계가 가능하다.

4.1 설계 방법

Fig. 7은 SWCOR에서 스크류의 설계도면을 나타내고 있다. 스크류 설계시 주요 치수결정 순서는 다음과 같이 한다.

- (1) 날개수 p : SWCOR에서는 일반적으로 2날개를 사용한다.
- (2) 스크류 외경 D와 리드 L : D는 압출기의 용량에 따라 32mm, 46mm, 48mm, 58mm 등으로 결정하며 L은 나선각과 비례하므로 재료의 성분, 이송속도, 압력 및 체류시간 등으로 표현 시 L/D의 값들은 각각 0.5, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0 등으로 설계한다.
- (3) 지름비 K : 스크류의 형상과 밀접한 관계가 있으므로 자유용적(free volume) 및 비토크(specific torque)등에 영향이 큰 파라미터로서 최근 1.55값이 널리 사용된다.

(4) 축간 중심거리 C_L : C_L 은 K값에서 결정되므로 스크류와 스크류 사이의 틈새 t_s , 스크류와 베럴 사이의 틈새 t_b 및 감속기의 잇수비에 따라 2축 감속기의 축간 거리와 일치하도록 수정한다.

(5) 스크류 축의 이뿌리 지름 d_s : K값이 증가하면 D_s 값이 감소하므로 D_s 의 한계범위 내에서 최대토크를 전달할 수 있도록 설계한다.

(6) 비토크 T_s/C_L^3 : 모터의 동력, 회전수 및 축간 중심거리에 의하여 결정되며 스크류 축의 지름을 결정하는 중요한 파라미터이다.

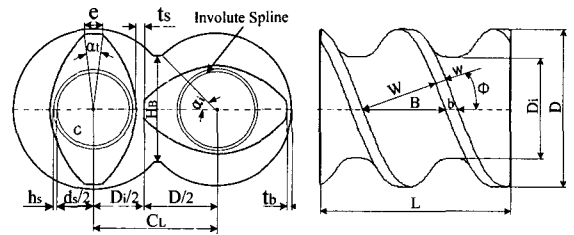


Fig. 7 Screw Design Parameters in SWCOR

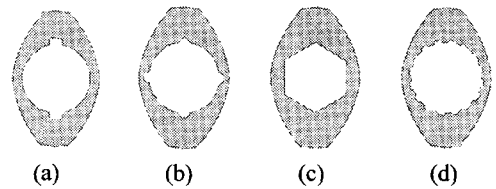


Fig. 8 Shape of shaft-screw connections

4.2 축지름 설계

스크류의 축지름은 K값에 의하여 결정된다. K값을 크게 설계하면 이송량은 증가하지만 토크 전달에 있어서 스크류 축의 지름이 감소하는 단점이 있다. Fig. 8은 스크류 축에 조립되는 스크류 단면의 축구멍 형상을 나타내고 있다. Fig. 8에서 (a)사각형 키 (b)둥근 키 (c)6각형 (d)인볼류트 스플라인 형상이다. 그 중 인볼류트 스플라인은 축의 이뿌리 강도가 크고 이뿌리 부분에 노치 홈이 없어 큰 토크전동이 가능하므로 최근 널리 사용된다. Fig. 9에서 d_s 는 축의 이뿌리 지름이며 h_s 는 이의 높이를 의미한다. 국내 SSP사와 독일 ZSK 모델에서 인볼류트 스플라인 축은 압력각 30°, 모듈 $m_s=h_s$ 로 설계하여 h_s/d_s 는 0.04~0.05범위로 사용하고 있다. 인볼류트 스플라인 스크류 축의 바깥지름은 $d=D_s+2m_s \leq D_s$ 의 조건을 만족해야 하므로 $m_s=0.05d_s$ 로 설계하면

d_s 의 최대값은 $0.909D$ 가 된다.

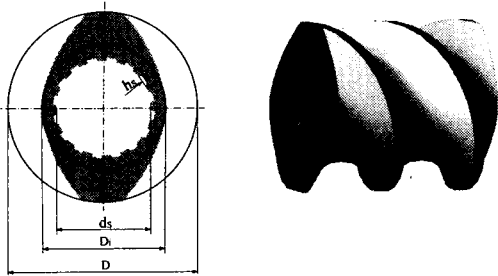


Fig. 9 Shape of Involute spline in double flighted screw

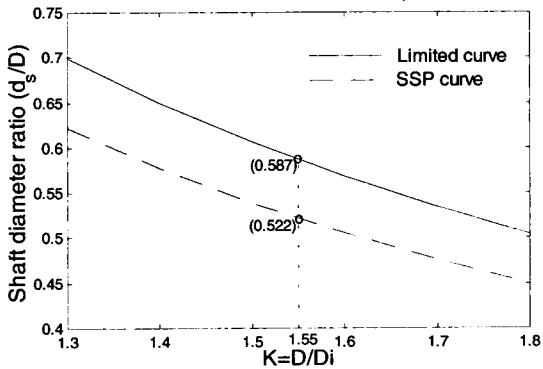


Fig. 10 Characteristic of d_s/D versus K in double flighted screw

Fig. 10은 K 값 변화에 따른 d_s/D 의 한계값과 SSP사에서 설계값을 나타내고 있다. $K=1.55$ 일 때 d_s 의 한계값은 $0.587D$ 이고 SSP사의 d_s 값은 $0.522D$ 임을 알 수 있다. 따라서 스크류 축의 d_s/D 값은 $K=1.55$ 일 때 안전율을 고려하여 0.5 로 설계한다. 그러므로 $d_s=0.5D$ 를 적용하여 축의 전동토크 T_s 를 계산하면 다음과 같이 정리된다.

$$T_s = \frac{\pi d_s^3}{16} \tau_a = \frac{\pi (0.5D)^3}{16} \tau_a = \frac{\pi D^3}{128} \tau_a \quad (11)$$

모터의 출력 토크 $T_m = 2T_s$ 이므로

$$T_m = 2T_s = \frac{\pi D^3}{64} \tau_a = 9549.3 \frac{H_m}{N} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (12)$$

따라서 $K=1.55$, $d_s=0.5D$ 일 때 스크류 축의 강도를

고려한 모터동력 H_m 은 다음 식과 같이 정리된다.

$$H_m = 5.14 \times 10^{-6} \times D^3 \times \tau_a \times N \quad (\text{kW}) \quad (13)$$

식 (13)의 단위는 D (m), τ_a (N/m^2), N (rpm)이다.

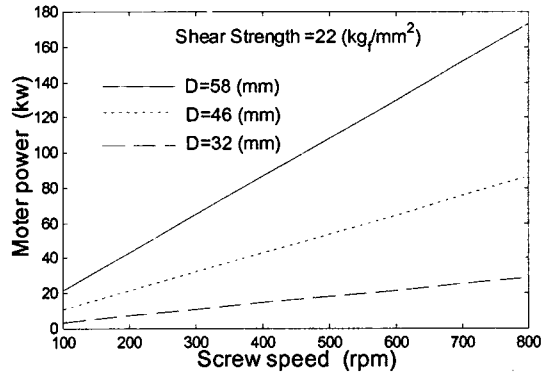


Fig. 11 Optimal Design of motor power versus screw diameter and screw speed

SWCOR에서 스크류의 지름이 각각 32, 46, 58mm인 경우 스크류 축의 허용전단강도 $\tau_a = 22$ (kg_f/mm^2)인 재료로 설계하면 모터동력과 스크류 축의 적정 회전수와의 관계는 Fig. 11과 같으며, $D=58\text{mm}$, $N=500\text{rpm}$ 일 때 $110(\text{kW})$ 의 모터 출력이 요구됨을 알 수 있다.

4.3 비토크와 K값 특성

스크류 축의 비토크 T_s/C_L^3 ($\text{N} \cdot \text{m}/\text{cm}^3$)는 축의 토크 T_s 와 스크류의 축간 중심거리 C_L 의 비로 정의할 때 토크비와 스크류의 회전속도는 SWCOR의 설계시 중요한 파라미터가 된다. 비토크값은 80년대 이전에 $4.1 \sim 8.7$ 의 값의 범위에서 제공되던 것이 최근 8.7 이상으로 설계된다. 이것은 동력이 증가되고 전체적으로 일정한 비율로 스크류의 속도를 유지하는 과정에서 증가 될 수 있다. 대용량 SWCOR의 ZSK모델은 $K=1.55$ 일 때 비토크는 11.3 으로 설계되며, 비토크를 허용전단강도와 K 값으로 나타내면 다음과 같이 정리된다.

$$\frac{T_s}{C_L^3} = 1.926 \times \frac{\tau_a}{(1 + 1/K)^3} \quad (\text{N} \cdot \text{m}/\text{cm}^3) \quad (14)$$

Table 2와 Fig. 12는 스크류 축의 허용전단강도와 K값 변화에 따른 비토크 값을 나타내고 있다.

Table 2 Specific torque values (N·m/cm³)

τ_a K	$\tau_a=20$ (kg/mm ²)	$\tau_a=22$ (kg/mm ²)	$\tau_a=24$ (kg/mm ²)	$\tau_a=26$ (kg/mm ²)
K=1.30	6.96	7.65	8.35	9.04
K=1.44	7.91	8.71	9.50	10.29
K=1.55	8.65	9.52	10.38	11.25
K=1.71	9.68	10.65	11.61	12.58
K=1.80	10.23	11.26	12.28	13.30

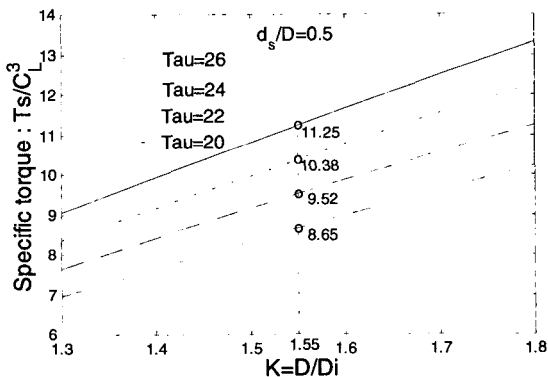


Fig. 12 Specific torque versus K in double flighted screw

SWCOR의 스크류 지름비를 K=1.55로 설계할 경우 스크류 축 재료의 허용전단강도가 22 kg/mm² 일 때 비토크는 9.52 N·m/cm³임을 알 수 있으며 비토크를 11 N·m/cm³ 이상 증가시키기 위해서는 허용전단강도가 26 kg/mm² 이상인 축 재료의 선정이 필요함을 알 수 있다.

5. 스크류 설계 프로그램

5.1 프로그램의 특징과 구현 환경

스크류 프로그램은 사용이 편리하고, 소프트웨어의 구입 없이 사용이 가능한 JAVA(JDK1.3.1) 애플릿 형태로 개발되었다. 이 특징은 다운로드 없이 주소 창에서 주소를 입력하게 되면 웹 페이지에서

바로 접근이 가능하여 결과 값을 가지게 할 수 있다. 또한 순수하게 CAD프로그램을 사용하지 않고, JAVA로만 구현하였기 때문에 CAD가 설치되지 않아도 시뮬레이션의 실행이 가능하게 된다. 이는 현장에서 사용을 간편히 하기 위한 것으로써, 사용자는 저급 컴퓨터에서도 사용이 가능하게 된다. 또한 JAVA의 Math 라이브러리를 사용함으로써 정확한 계산이 가능하도록 구현되었다.

5.2 프로그램 처리 순서

프로그램은 사용자가 입력부분의 정보(스크류 지름 D, 스크류 리드 L, 날개수 p 및 지름비 K값)를 입력하면 기본 모델에 포함된 수식에 의하여 스크류 형상곡선의 각 점을 배열로 저장하여, 이를 곡선으로 표현된다. 또한 계산된 곡선을 이용하여 실제 공구에 의하여 가공되는 스크류의 형상을 나타내 주며, 사용자 환경은 전체적으로 3부분으로 나뉘게 된다.

첫째, 스크류 가공용 공구에 대한 설계영역으로서 공구형상을 보여주게 되며 입력 파라미터를 받아들이는 부분이다.

둘째, 스크류 형상을 출력하는 부분으로서 공구형상에 의하여 설계된 스크류의 형상을 나타낸다.

셋째, 스크류 설계결과에 대한 각 데이터를 나타낸다.

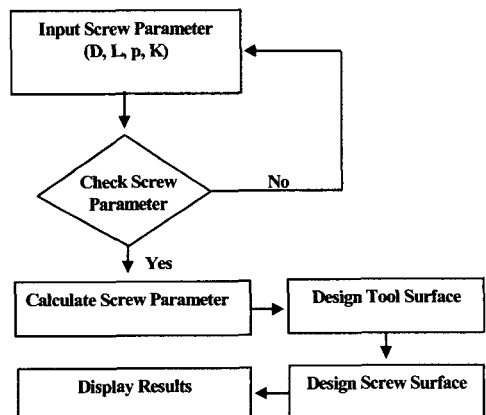


Fig. 13 Procedure of screw design program process

5.3 프로그램의 알고리즘

스크류의 공구형상은 CAD프로그램과의 호환이 가능하도록 설계되어 스크류 형상의 Surface를 그리

는 부분은 2차원으로 표현되었지만 좌표 값을 갖고 있으므로 텍스트 파일로 저장이 가능하고 CAD프로그램에서 이를 사용하여 자동으로 3차원 모델링이 가능하도록 구현하였다. 스크류의 형상은 공구에 의해서 가공되는 모양으로 곡선을 생성하고 설정에 따라 Zoom 모드에 의하여 자세한 데이터를 얻을 수 있도록 프로그램 되어 있다.

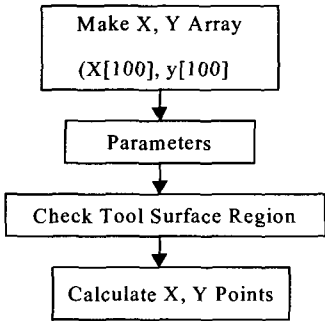


Fig. 14 Algorithm of Tool Surface

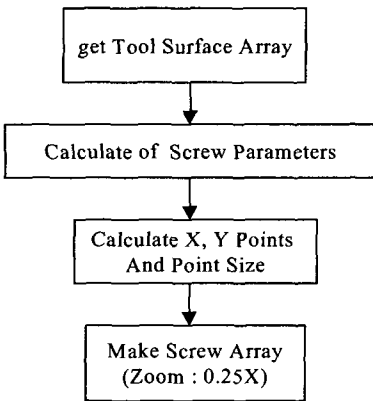
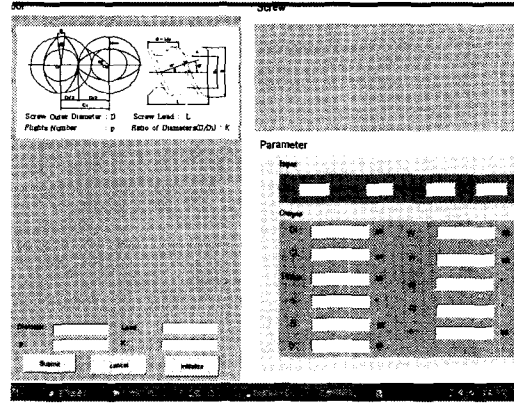


Fig. 15 Algorithm of screw section profile

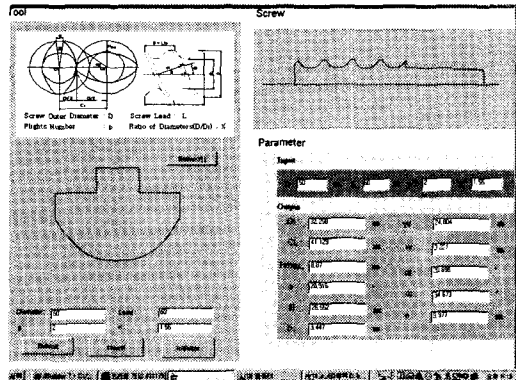
5.4 프로그램 실행 결과

프로그램을 실행하면 Fig. 16(a)와 같이 사용자 인터페이스 창이 열리게 된다. 창의 좌측은 설계 파라미터의 정의와 공구형상 및 입력 파라미터를 나타내며 가운데 있는 "Show XY" 버튼을 누르면 생성된 스크류의 X-Y 데이터를 확인할 수 있으며 텍스트 파일로 저장할 수 있다. 창의 우측은 스크류의 가공형상과 설계 결과를 나타낸다. Fig. 16(b)는 설계 파라미터를 각각 $D=50\text{mm}$, $L=60\text{mm}$, $p=2$, $K=1.55$

로 입력시 스크류 가공용 공구의 형상, 스크류 채널 형상 및 스크류의 설계 결과를 나타내고 있다.



(a) Initial window



(b) Execution window

Fig. 16 Windows of user interface

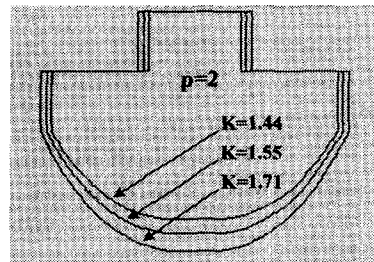


Fig. 17 Screw tool profile various K value

Fig. 17은 2날개 스크류의 K값 변화에 따른 공구

형상의 설계 결과를 나타내고 있으며, Fig. 18은 2날개 스크류와 3날개 스크류를 모델링하기 위하여 스크류 프로그램에서 구한 X-Y 데이터로 스크류 가공용 공구형상을 2차원 평면으로 만든 후 축지름 50mm, 길이 120mm의 원통에 3차원 모의가공한 형상을 나타내고 있다. 모델링한 형상을 2축 스크류 축에 적용하기 위하여 설계된 축간 중심거리에서 스크류 날개의 간섭을 확인한 결과 간섭 없이 일정한 간격이 유지됨을 확인하였다.

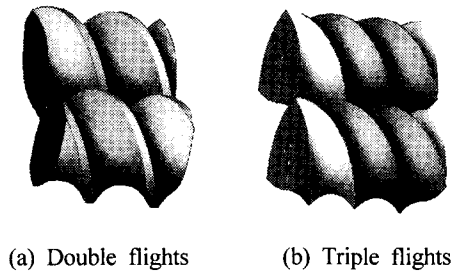


Fig. 18 Modelling of extruder screw

6. 결론

본 연구는 SWCOR에서 스크류의 형상설계 특성과 스크류 축의 비토크 특성을 분석하고 스크류 지름과 회전수와의 관계로부터 적정 동력 값을 제시하였다. 또한 JAVA API의 Math 라이브러리와 Awt 라이브러리를 사용하여 형상 파라미터 입력방식으로 압출용 스크류의 형상 및 공구설계를 위한 전용 설계프로그램을 개발하였으며 주요 내용은 다음과 같이 요약된다.

- (1) 스크류의 생성을 위한 단면형상과 채널 형상식을 유도하여 스크류 형상을 설계한 결과 스크류 형상은 D, L, p, K 값에 의하여 결정된다.
- (2) 스크류의 지름 비는 스크류 축의 강도와 이송능률을 고려하여 결정되며 최근 널리 사용되는 $K=1.55$ 일 때 스크류 지름과 회전수 변화에 따른 적정 동력식을 유도하였다.
- (3) 비토크는 전단응력과 K 값으로 나타낼 수 있으며 비토크값을 $11 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{cm}^3$ 이상 증가시키기 위해서는 허용전단강도가 $26 \text{ kg}/\text{mm}^2$ 이상인 축재료의 선정이 필요함을 알았다.
- (4) JAVA API의 Math 라이브러리와 Awt 라이브러

리를 사용하여 웹 기반환경에서 사용할 수 있는 스크류 설계프로그램을 개발하였으며, 설계된 두 스크류의 물림상태를 확인한 결과 간섭이 발생하지 않으므로 이론식의 타당성을 검증하였다.

참고문헌

1. White, J. L., Twin Screw Extrusion, Hanser Publishers, pp. 50-73, 1990.
2. Kapfer, K., Current Developments in Twin Screw Design and Its Application in the Preparation of Polymer Blends, ANTEC, pp. 96-101, 1988.
3. Booy, M. L., "Geometry of Fully Wiped Twin Screw Equipment," Polym. Eng. Sci., Vol. 18, No. 12, pp. 973-983, 1978.
4. Rauwendaal, C., "The Geometry of Self-Cleaning Twin-Screw Extruders," Advances in Polym. Tech., Vol. 15, No. 2, pp. 127-133, 1996.
5. Potente, H., "A Physico-Mathematical Model for Solids Conveying in Co-Rotating Twin Screw Extruders," Int. Polym. Processing, pp. 29-41, 1996.
6. Lee, A., Ferguson, J. and Kafer, K., "Optimization of Large Scale Twin Screw Compounders," Polyolefins, International Conference, Vol. 11, pp. 221-232, 1999.
7. Baird, D. G., Polymer Processing Principles and Design, John Wiley & Sons, Inc., pp. 213-221, 1998.
8. Choi, B. H., Jeong, C. K. and Choi, S. H., "Tool Shape Design for the Screw Flights Cutting in Twin Screw Extruder," KSPE Spring Conference, pp. 824-828, 2002.
9. Rios, A. C., etc., "Comparative Study of Mixing in Corotating Twin Screw Extruders Using Computer Simulation," Advances in Polymer Technology, Vol. 17, No. 2, pp. 107-113, 1998.
10. Choi, B. H., Choi, S. H., "Characteristics Design on Helix Angle of the Extruder Screw," KSPE Autumn Conference, pp. 706-709, 2001.